

СТИМУЛИРОВАННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В ОБЛУЧЕННЫХ ПРОТОНАМИ ПЛЕНКАХ Cu(In,Ga)Se_2 ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

И. Е. Свитенков¹, В. Н. Павловский¹, Е. В. Луценко¹, Г. П. Яблонский¹,
А. В. Мудрый², В. Д. Живулько²

¹ Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Минск

² Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению,
Минск

E-mail: v.pavlovskii@ifanbel.bas-net.by

Спонтанное излучение пленок Cu(In,Ga)Se_2 (CIGS) при возбуждении непрерывным излучением маломощных лазеров часто используется для характеристики и сравнения их оптического качества для фотовольтаических применений [1, 2]. Наряду с этим, при возбуждении излучением мощных импульсных лазеров в пленках CIGS может проявиться стимулированное излучение (СИ), которое дает дополнительную информацию об их кристаллическом качестве и энергетической электронной структуре [3, 4]. Это важно для оптимизации режимов осаждения пленок CIGS при изготовлении высокоэффективных солнечных элементов на их основе.

В настоящей работе приводятся данные по СИ в необлученных и облученных протонами с энергией 2.5–10 кэВ пленках CIGS, которые использовались в качестве базовых поглощающих слоев солнечных элементов с к.п.д. 11–14 %, при возбуждении импульсами излучения азотного лазера наносекундной длительности при температуре $T = 20$ К.

Тонкие пленки CIGS толщиной ~ 1.5 мкм осаждались на подложки из натриевого стекла методом соиспарения чистых элементов Cu, In, Ga и Se из независимых источников в трехстадийном процессе. Фотолюминесценция (ФЛ) возбуждалась излучением азотного лазера ($E_{\text{и}} = 30$ мкДж, $\tau_{\text{и}} = 8$ нс, $f = 525$ Гц). Лазерное излучение фокусировалось на поверхность пленок в пятно площадью около 1 мм^2 . Оптический гелиевый рефрижератор замкнутого цикла CCS-150 использовался для поддержания температуры образца. ФЛ с поверхности пленки регистрировалась с использованием монохроматора М-266 (Солар ЛС, г. Минск) и линейного инфракрасного детектора Hamamatsu G9212 -512S.

В необлученной протонами плёнке CIGS наблюдалось стимулированное излучение с максимальной интенсивностью и наиболее узким спектром излучения из всех исследованных плёнок. Основное внимание в работе уделялось изучению влияния облучения протонами на спектры излучения плёнок при высоких уровнях возбуждения. Пиковая интенсивность излучения пленки CIGS, облученной протонами с энергией 2.5 кэВ, сверхлинейно зависит от уровня возбуждения (рис. 1). Увеличение уров-

ня возбуждения примерно в 20 раз приводит к возрастанию интенсивности излучения в 275 раз. При повышении уровня возбуждения от 5 до 95 кВт/см² наблюдаются монотонное сужение в 6 раз полосы излучения от 55 до 9 нм, а также тенденция к стабилизации полуширины. С ростом интенсивности возбуждения вначале быстро (до ~20 кВт/см²) происходит значительный коротковолновый сдвиг спектра на 10 нм от 1061 до 1051 нм, затем (до ~40 кВт/см²) наблюдается стабилизация положения полосы излучения. При дальнейшем росте уровня возбуждения происходит её небольшой длинноволновый сдвиг на 2 нм от 1050 до 1052 нм. Наблюдаемые явления свидетельствуют о наличии стимулированного излучения также и в плёнке CIGS, облучённой протонами с энергией 2.5 кэВ.

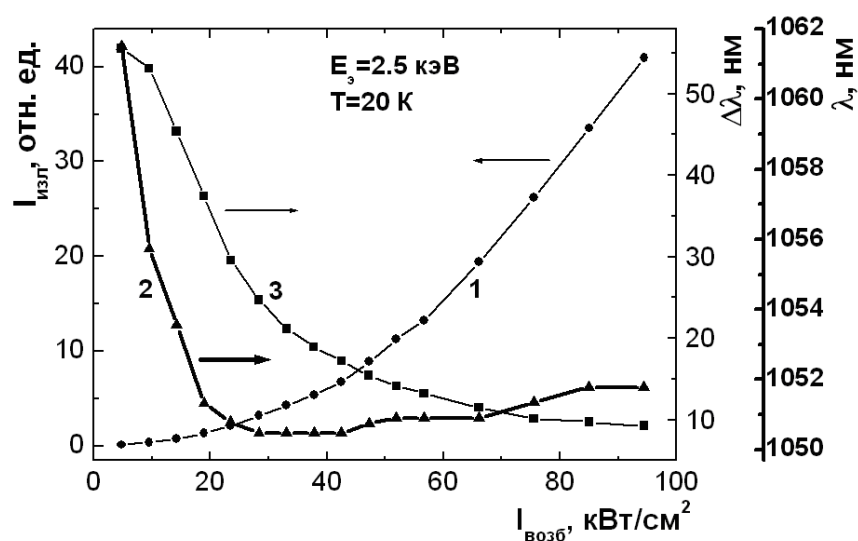


Рис. 1. Зависимость интенсивности полосы ближкрасевой люминесценции в максимуме спектра (1), её спектрального положения (2) и полуширины (3) от интенсивности возбуждения при T=20 К для плёнки CIGS, облучённой протонами с энергией 2.5 кэВ

Обсуждаются механизмы излучательной рекомбинации, ответственные за наблюдаемые закономерности в зависимости от мощности возбуждения, а также влияние режимов облучения пленок CIGS протонами на изменение спектров ближкрасевого излучения.

Работа выполнена в рамках ГПНИ «Электроника и фотоника 1.2.06».

1. Yang J, Du H. W., Chen D. S. et al. // Mater. Lett. 2015. V. 145. P. 236–238.
2. Zachmann H., Heinker S., Braun A. et al. // Thin Solid Films. 2009. V. 517, P 2209–2212.
3. Свитенков И. Е., Павловский В. Н., Луценко Е. В. и др. // Полупроводниковые лазеры и системы: Матер. 10-го Белорусско-Российского семинара. Мн.: Институт физики НАН Беларуси, 2015. С. 235–237.
4. Moret M., Briot O., Gil B. et al. // Proc. of SPIE. 2015. V. 9358, 93581A1.